

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



WEBER Q79527  
SCHEDULING OF REALTIME COMMUNICATION  
IN SWITCHED NETWORKS  
SUGHRUE MION 202-293-7060  
Filed: March 1, 2004  
1 of 1

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 09 164.5  
**Anmeldetag:** 28. Februar 2003  
**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
80333 München/DE  
**Bezeichnung:** Scheduling von Echtzeitkommunikation in  
geschalteten Netzwerken  
**IPC:** H 04 L 12/413

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 15. Januar 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Wallner

Beschreibung

Scheduling von Echtzeitkommunikation in geschalteten Netzwerken

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein schaltendes Koppelement zum einfachen Scheduling von Echtzeit-Datentelegrammen bei kalkulierbaren, lastunabhängigen Zykluszeiten.

10 Das Ethernet wird heutzutage vermehrt im Automatisierungsumfeld eingesetzt. Ein Automatisierungssystem erfordert eine kalkulierbare Reaktionszeit. Es muss sichergestellt sein,

15 dass Daten innerhalb eines definierten Zeitraumes übertragen werden können. Eine Komponente der Reaktionszeit ist bei der Datenübertragung die Zykluszeit. Bei der Verwendung eines

20 Ethernet ist die Kalkulierbarkeit der Reaktionszeit bzw. der Zykluszeit primär nicht gegeben. Dies liegt an der Tatsache, dass das zugrundegelegte Regelwerk nach einem sogenannten „best effort“-Prinzip arbeitet. Dieses Prinzip stellt in der Regel gute Reaktionszeiten sicher, es ist jedoch belastungsabhängig. Das heißt bei hohem Kommunikationsaufwand bzw. bei einer hohen Anzahl von übertragenden Daten ist eine Gewährleistung der Reaktionszeit nicht gegeben.

25 Es gibt verschiedene Methoden, um diese Schwäche prinzipiell zu umgehen. In der Regel laufen die Verfahren darauf hinaus, dass Spezial-Netzwerkkomponenten verwendet werden oder der Betrieb von Standard-Ethernetknoten verboten wird. Das schränkt jedoch die Anwendbarkeit und die Akzeptanz dieser

30 Technik wesentlich ein.

Aus der Anmeldung mit dem Kennzeichen 10058524.8 ist ein Verfahren zur Übertragung von Daten über schaltbare Datennetze, insbesondere ein Ethernet im Bereich industrieller Anlagen, bekannt, bei dem echtzeitkritische und nicht echtzeitkritische Daten übertragen werden, wobei die Daten in einem Übertragungszyklus mit einstellbarer Zeitdauer übertragen werden,

wobei jeder Übertragungszyklus in einen ersten Bereich zur Übertragung von echtzeitkritischen Daten zur Echtzeitsteuerung und einen zweiten Bereich zur Übertragung von nicht echtzeitkritischen Daten unterteilt ist.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, welches die Übertragung von echtzeitkritischen und nicht echtzeitkritischen Daten im Rahmen eines Netzwerkes, insbesondere eines Ethernet, für ein Automatisierungssystem 10 verbessert.

10

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie durch ein schaltendes Koppellement mit den in Anspruch 7 angegebenen Merkmalen.

15

Der Vorteil des hier beschriebenen Verfahrens besteht darin, dass Echtzeit-Datentelegramme, sogenannte Real Time Data, mit kalkulierbaren und lastunabhängigen Zykluszeiten versendet werden können. Das Verfahren erlaubt ein sogenanntes Scheduling, bei dem bestimmte Zykluszeiten ausschließlich für den Versand von Echtzeitdaten reserviert sind. Während dieser Phasen werden lange nicht Echtzeit-Datentelegramme im System angehalten bzw. nicht weitergeleitet. Das Verfahren funktioniert gewissermaßen nach einer Art Ampelsteuerung, mit der der Echtzeit-Datenverkehr mit einer bestimmbaren Verzögerungszeit durch das System geleitet wird. Bevor die Phase für den Echtzeit-Datenverkehr jedoch beginnt, gibt es eine Art Zwischenphase, in der kurze Nicht-Echtzeit-Datentelegramme noch versendet werden können, um die Kapazität des Datenübertragungssystems möglichst effizient auszunutzen. Während dieser Phase werden nur lange Echtzeit-Datentelegramme nicht weiterversendet. Diese Phase ist vorteilhaft, um bei Eintritt in die Realtime-Phase bereits ein Netz vorzufinden, das frei ist von störenden langen Telegrammen ist. Bei geringen Anforderungen an Echtzeitfähigkeit könnte diese Phase auch entfallen. Dann gibt es allerdings Jitter in der RT-Phase, was zu einer Verlängerung dieser führt.

25

30

35

Eine Realisierung des Verfahrens erfolgt auf den schaltenden Koppelementen bzw. den Switches mit Hilfe von implementierten Prioritäten. In Abhängigkeit von der Priorität werden in  
5 den unterschiedlichen Phasen die Datentelegramme versendet. Beispielsweise wird bei einer Priorität von Null oder Eins alles weitergesendet, was an dem jeweiligen schaltenden Koppelement (Switch) an Datenverkehr anfällt. Während dieser Priorität können sowohl Echtzeit-Datentelegramme als auch  
10 Nicht-Echtzeit-Datentelegramme versendet werden. Bei einer Priorität von Zwei werden nur kurze Datentelegramme versendet, die sozusagen die Kapazitäten auffüllen, die jedoch mit Sicherheit während der Phase abgeschlossen werden können. Das heißt, es ist gewährleistet, dass zu Beginn der nächsten  
15 Phase, die durch die Priorität Drei definiert ist kein Datenstau vorliegt und das Kommunikationssystem bzw. das Ethernet frei ist für den Datenverkehr der Echtzeit-Datentelegramme. Durch die kurzen Nachrichten der Priorität Zwei werden einerseits die Prioritäten Null und Eins blockiert, andererseits  
20 die Priorität Drei durchgeleitet.

Bei einem derartigen Verfahren ist es wichtig, dass die schaltenden Koppelemente bzw. Switches zeitsynchronisiert arbeiten. Sie müssen alle zur gleichen Zeit mit der gleichen  
25 Priorität arbeiten, damit die Echtzeit-Datentelegramme dann auch störungsfrei über das Datenübertragungssystem weitergeleitet werden können. Die Switches müssen also bezüglich ihrer Prioritäten und Phasen synchronisiert sein. Hierzu ist im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Möglichkeit angegeben, wie die Zeitsynchronisation mittels einer Berechnung der Verzögerung der Datenübertragung zwischen zwei Knoten im Netz, also zwei Switches, berechnet werden kann. Gleichzeitig wird ein Synchronisationssignal verwendet, um zusätzlich zur Verzögerungszeit eine Synchronisation der beteiligten Knoten  
30 im Netz zu ermöglichen.  
35

Das Verfahren beruht auf einer Kombination, welche sowohl eine Hardwarelösung erlaubt, wie sie beispielsweise in der internationalen Anmeldung PCT/WO 99 150722 vorgeschlagen wird, als auch dem Precision Time Protocol PTP (IEEE 1588), welches das Follow-up-Prinzip verwendet. Durch die Kombination der beiden Methoden lässt sich auch auf Standard-Switches kostengünstig ein optimales Zeitsynchronisationsverfahren realisieren.

- 10 Die Verwendung eines schaltenden Koppelementes bzw. Switches im Rahmen des Verfahrens, bei dem unterschiedliche Prioritäten implementiert sind, die ein Versenden von Echtzeit-Datentelegrammen bzw. Nicht-Echtzeit-Datentelegrammen zu unterschiedlichen Phasen erlauben, ist vorteilhaft, da eine 15 kostengünstige Implementierung eines entsprechenden Ethernet hiermit möglich wird. Standardkomponenten können im Rahmen des Datenübertragungssystems eingesetzt werden, was zu einer erhöhten Akzeptanz der Ethernet-Technologie im Rahmen des Automatisierungsumfelds führt. Besonders günstig bei dem beschriebenen Verfahren ist die Implementierung der unterschiedlichen Prioritäten mit einer für die Echtzeit-Datenkommunikation reservierten Phase und einer Phase, in der die Kapazität des Datenübertragungssystems zwar genutzt werden kann, indem kleine Fülltelegramme mit kurzer Sendedauer verwendet werden, lange Nicht-Echtzeit-Datentelegramme jedoch zurückgehalten werden und somit im Rahmen des Datenübertragungssystems ein Datenstau vermieden wird, der unter Umständen zu einer Verzögerung der Übertragung der Echtzeit-Daten- 20 25 telegramme führen könnte. Insgesamt wird hierdurch eine bestimmbare Zykluszeit für die Übermittlung von Echtzeit-Daten-telegramme gewährleistet.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand des Ausführungsbeispiels in der Figur näher beschrieben und erläutert.

- 35 Die Figur zeigt ein für die Datenübertragung implementiertes Verfahren, bei dem über ein Datennetz, welches insbesondere

als Ethernet ausgebildet ist, in einer ersten Phase 1 Echtzeit-Datentelegramme RT versendet werden, in einer zweiten Phase 2 Nicht-Echtzeit-Datentelegramme NRT und Echtzeit-Datentelegramme RT versendet werden und in einer dritten Phase 5 3 der Versand von langen Nicht-Echtzeit-Datentelegrammen NRT unterbunden wird. Die drei Phasen 1, 2, 3 zusammengefasst ergeben den Sendezyklus 4. Hierbei ist die Reihenfolge der Phasen insofern relevant, als das vor der ersten Phase 1, die zum Versenden der Echtzeit-Datentelegramme RT vorgesehen ist, 10 die dritte Phase 3 vorgeschaltet ist, in der ein Versand langer Nicht-Echtzeit-Datentelegramme NRT unterbunden wird. Ein Sendezyklus 4 besteht immer aus allen drei Phasen, muss jedoch nicht notwendigerweise bei der ersten Phase 1 beginnen. Ein Beginnen des Sendezyklus 4 mit der zweiten oder dritten 15 Phase 2, 3 ist ebenfalls denkbar. Die Länge des Sendezyklus 4 ändert sich bei einer Verschiebung jedoch nicht.

Das Verfahren funktioniert prinzipiell wie eine Art Ampelsteuerung, mit Hilfe deren der Echtzeit-Datenverkehr RT mit 20 einer bestimmmbaren Verzögerungszeit durch das System geleitet wird. Um eine konstante Zykluszeit zu gewährleisten, wird der Nicht-Echtzeit-Datenverkehr NRT ab einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb des Sendezyklus 4 unterbunden. Hierdurch wird eine Vorhersagbarkeit des Echtzeit-Datenverkehrs RT gewährleistet. 25 Innerhalb der ersten Phase 1 werden ausschließlich Echtzeit-Daten RT versendet. Diese Phase beginnt zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb des Sendezyklus 4. Diese ersten Phase 1 ist auf einen begrenzten Zeitraum beschränkt (etwa 100 bis 200 µsec ist die Dauer der Phase). Eine sich anschließende 30 zweite Phase 2 in der Nicht-Echtzeitdaten NRT zusammen mit Echtzeitdaten RT versendet werden, schließt sich an. Der Wechsel zur Phase 1, in der ausschließlich wieder Echtzeitdaten RT versendet werden, ist derart realisiert, dass in einer dritten Phase 3 lange Nicht-Echtzeitdaten NRT aufgehalten 35 werden, so dass ein Datenstau unterbunden wird und bei Beginn der nächsten Phase 1<sub>i</sub> im anschließenden Sendezyklus 4<sub>i</sub> das Datenübertragungssystem frei ist für die Übertragung der

Echtzeit-Datentelegramme RT. In der dritten Phase 3 können jedoch kleine Fülltelegramme FT versendet werden, deren Ver- sand innerhalb der dritten Phase 3 garantiert abgeschlossen werden kann.

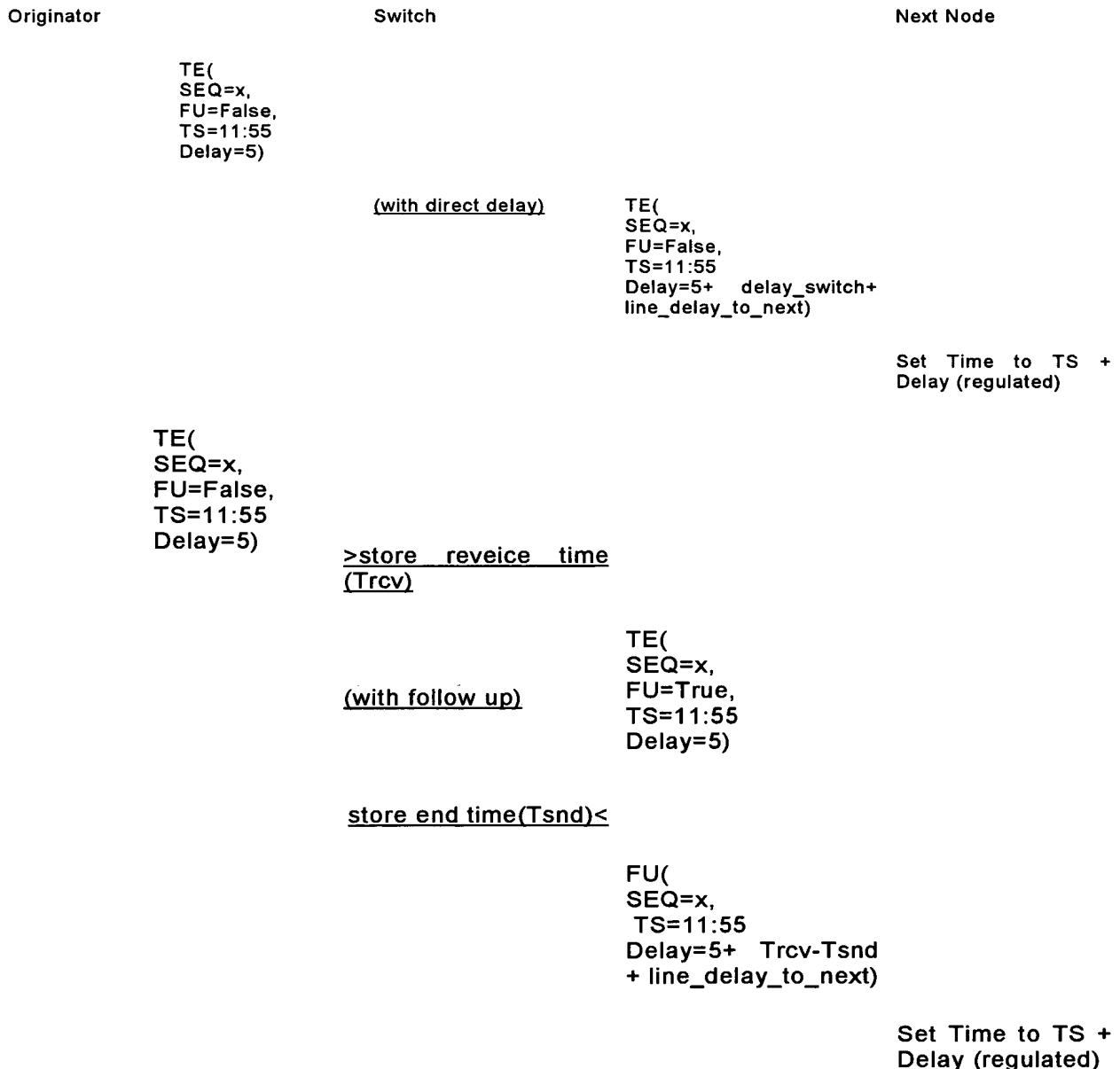
5

Das angegebene Verfahren basiert auf einer Zeitsynchronisa-  
tion zwischen den an der Datenkommunikation beteiligten Kno-  
ten bzw. Switches. Hierbei wird zur Zeitsynchronisation ein  
Kombinationsverfahren verwendet, bei dem eine Verzögerung der  
10 Datenübertragung zwischen zwei Knoten angegeben wird und ein  
Signal zur Zeitsynchronisation zwischen den Knoten versendet  
wird. Die Berechnung der Verzögerung an einem bestimmten Kno-  
ten bzw. zwischen einer bestimmten Verbindung kann auf Basis  
einer Schätzung durchgeführt werden (eine 100 m Linie weist  
15 ungefähr 500 ns Verzögerung auf). Bei einem einfachen Design  
kann ein mittlerer Wert von 300 ns angegeben werden, um den  
sich der Empfang einer Nachricht zwischen zwei Knoten verzög-  
ert.

20

Bei der Weiterleitung eines Zeitsynchronisationssignals kann  
auch eine automatische Berechnung der Verzögerung mit Hilfe  
einer Zeitnachricht erfolgen. Hierbei wird ein sogenanntes  
„Follow-up“-Prinzip verwendet. Bei dem Prinzip wird ein ers-  
tes Zeitdatentelegramm mit einer speziellen Zahlensequenz  
versendet. Dieses erste Datentelegramm wird gefolgt von einem  
zweiten mit der selben Zahlsequenz, welches zusätzlich die  
Zeit beinhaltet, zu der das erste abgesendet wurde. Auf Basis  
der beiden Datentelegramme kann die Verzögerungszeit die zwi-  
schen dem Sender und dem Empfänger aufgetreten ist, berechnet  
30 werden. Die beiden Datentelegramme werden mit bestimmten, re-  
servierten Sendeadressen versendet, so dass sie als zur Zeit-  
synchronisation gehörend erkannt werden und entsprechend aus  
dem System herausgefiltert werden können. Eine Verwechslung  
mit normalen Datentelegrammen ist somit nicht möglich. Das  
35 Synchronisationssignal soll die Zeit beinhalten, zu der es  
abgesendet wurde und zusätzlich alle lokalen Zeitverzögerun-  
gen.

Im Folgenden ist eine Prozedur angegeben, die für die Versendung des Synchronisationssignals verwendet werden kann:



- 5 Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Verfahren und ein schaltendes Koppelement zum einfachen Scheduling von Echtzeit-Datentelegrammen bei kalkulierbaren, lastunabhängigen Zykluszeiten. Hierbei wird ein Sendezyklus 4 in drei Phasen unterteilt. In einer ersten Phase 1 werden nur Echtzeit-Da-

tentelegramme versendet, in einer zweiten Phase 2 Echtzeit- und Nicht-Echtzeit-Datentelegramme und in einer dritten Phase 3 wird der Versand von langen Nicht-Echtzeit-Datentelegrammen unterbunden. Kurze Fülltelegramme können während der Phase 3 5 versendet werden. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Datenübertragung der Echtzeit-Datentelegramme reibungslos verläuft. Der Versand in bestimmten Phasen wird mittels den Datentelegrammen zugeordneten Prioritäten geregelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Datenübertragung über ein Netz (5), insbesondere ein Ethernet, bei dem

- 5 - in einer ersten Phase (1) während eines Sendezyklus (4) Echtzeit-Datentelegramme über das Netz (5) versendet und/oder weitergeleitet werden,
- in einer zweiten Phase (2) während eines Sendezyklus (4) Echtzeit-Datentelegramme und/oder Nicht-Echtzeit-Daten-  
10 telegramme über das Netz (5) versendet und/oder weiterge-  
leitet werden und
- in einer dritten Phase (3) während eines Sendezyklus (4) das Weiterleiten und/oder Versenden von langen Nicht-  
Echtzeit-Datentelegrammen unterbunden wird, wobei sich an  
15 die dritte Phase (3) ein neuer Sendezyklus ( $4_i$ ) mit einer  
neuen ersten Phase ( $1_i$ ), in welcher Echtzeit-Datentele-  
gramme versendet werden, anschließt.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

20 dadurch gekennzeichnet,  
dass das Verfahren auf einem schaltenden Koppelement implementiert ist, wobei das schaltende Koppelement mindestens  
über vier Sendeprioritäten verfügt.

25 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in der dritten Phase (3) kurze Füll-Telegramme, deren  
Versand vor Beginn der neuen ersten Phase ( $1_i$ ) abgeschlossen  
ist, versendet und/oder weitergeleitet werden.

30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Zeitsynchronisation der schaltenden Koppelemente  
durchgeführt wird.

35 5. Verfahren nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,

dass die Zeitsynchronisation mittels einer Berechnung der Verzögerung zwischen zwei Knoten des Netzes (5) in Kombination mit der Verwendung eines Synchronisationssignals durchgeführt wird.

5

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Netz (5) als Linie ausgebildet ist.

10 7. Schaltendes Koppelement zur Datenübertragung über ein Netz (5), insbesondere ein Ethernet, mit mindestens vier implementierten Prioritäten, wobei das Schaltende Koppelement zum Versenden und/ oder Weiterleiten

- von Echtzeit-Datentelegrammen über das Netz (5) in einer ersten Phase (1) während eines Sendezyklus (4) in Abhängigkeit von der entsprechenden Priorität,
- von Echtzeit-Datentelegrammen und/oder Nicht-Echtzeit-Datentelegrammen über das Netz (5) in einer zweiten Phase (2) während eines Sendezyklus (4) in Abhängigkeit von der entsprechenden Priorität vorgesehen ist und
- zum Unterbinden des Weiterleitens und/oder Versendens von langen Nicht-Echtzeit-Datentelegrammen in einer dritten Phase (3) während eines Sendezyklus (4) in Abhängigkeit von der entsprechenden Priorität.

## Zusammenfassung

Scheduling von Echtzeitkommunikation in geschalteten Netzwerken

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein schaltendes Koppelement zum einfachen Scheduling von Echtzeit-Datentelegrammen bei kalkulierbaren, lastunabhängigen Zykluszeiten. Hierbei wird ein Sendezyklus (4) in drei Phasen unterteilt.

- 10 In einer ersten Phase (1) werden nur Echtzeit-Datentelegramme versendet, in einer zweiten Phase (2) Echtzeit- und Nicht-Echtzeit-Datentelegramme und in einer dritten Phase (3) wird der Versand von langen Nicht-Echtzeit-Datentelegrammen unterbunden. Kurze Fülltelegramme können während der Phase (3)  
15 versendet werden. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Datenübertragung der Echtzeit-Datentelegramme reibungslos verläuft. Der Versand in bestimmten Phasen wird mittels den Datentelegrammen zugeordneten Prioritäten geregelt.

20

2003 02361

1/1

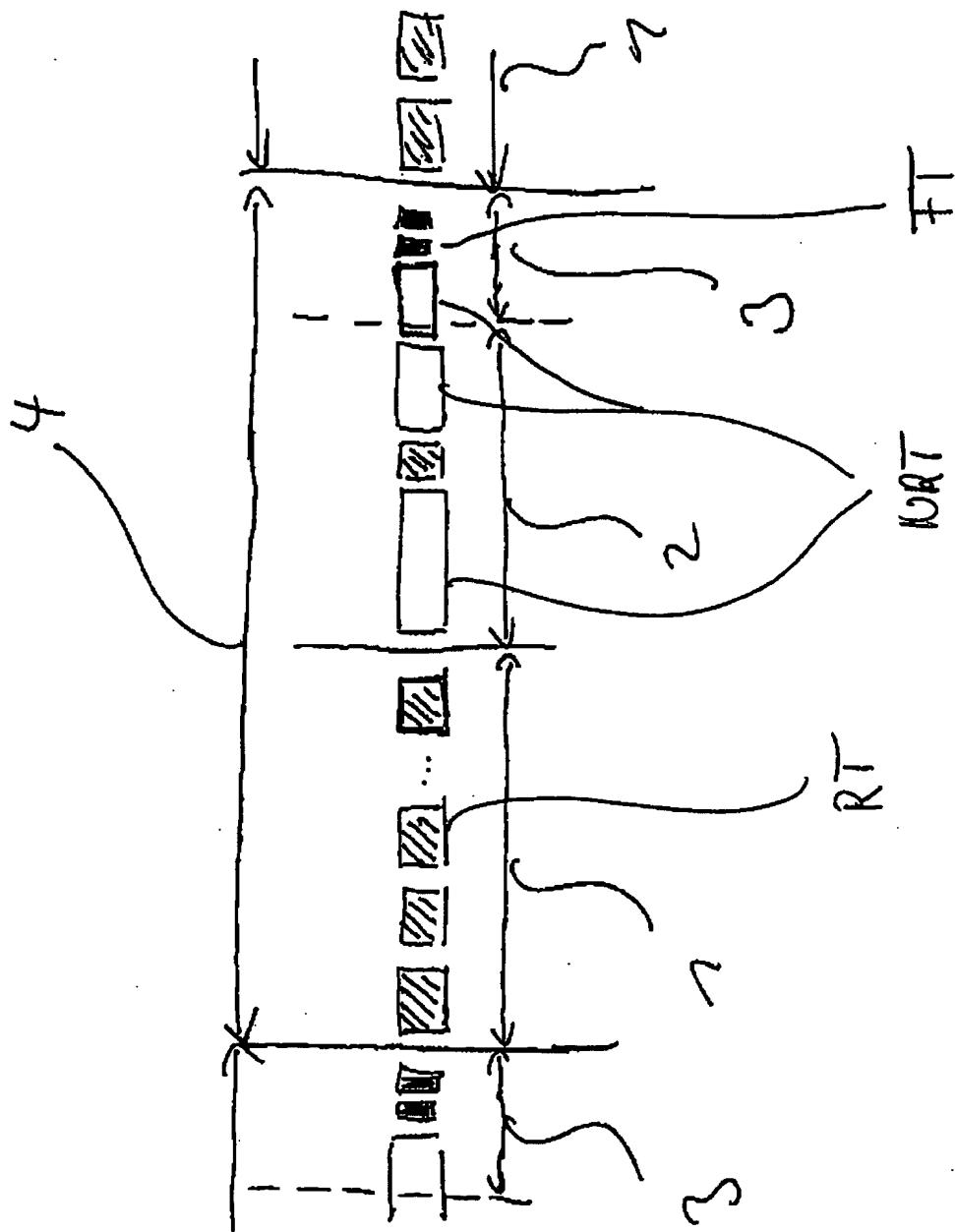


Fig 1